

и перемещений отдельных узлов сложных агрегатов с учетом фактического состояния каждого узла отслеживается и сохраняется в системе.

#### Заключение

Метод RCM во многих случаях оказывается весьма эффективным подходом. Многие из его положений достаточно универсальны и применимы к деятельности большинства предприятий. В то же время не следует забывать, что метод был разработан, в первую очередь, для организаций, где безопасность является главным критерием. В этих отраслях правила следования установленным срокам, правилам и критериям регламентируются фактически законодательно. В большинстве коммерческих отраслей последствия

возникновения большинства отказов носят чисто экономический характер. Это порождает значительную неопределенность в выработке критериев принятия решения о проведении ремонтных работ того или иного агрегата. Для авиации и парков транспортных средств наработана достаточная статистика по отказам и симптомам отказов отдельных узлов. В противовес этому на многих предприятиях конфигурация оборудования уникальна и статистика производителя отсутствует, поскольку объект создавался инженеринговой компанией из изделий от различных поставщиков. Это сильно затрудняет решение задачи ремонта по состоянию, хотя выработка адекватной ремонтной стратегии для различных единиц оборудования вполне оправдана и реалистична.

*Шехватов Дмитрий Борисович — коммерческий директор IFS Russia& CIS.  
Контактный телефон (495) 933-52-02.*

## РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АСУ БЭР™ КОМПАКС®

**В.Н. Костюков, А.В. Костюков (НПЦ "Динамика")**

*Представлена структура, функциональность, особенности и возможности АСУ безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования (АСУ БЭР™ КОМПАКС®), разработанной НПЦ "Динамика" (г. Омск).*

*Ключевые слова: эксплуатация по техническому состоянию, планово-предупредительный ремонт, диагностика, мониторинг, системы поддержки принятия решений*

В условиях сложившихся рынков основным источником повышения рентабельности предприятий с непрерывным производственным циклом является снижение эксплуатационных затрат и потерь от аварий и простоев производства, связанных с внезапным выходом из строя технологического оборудования.

Эксплуатационные потери можно сократить до минимума, проводя своевременное и целенаправленное техническое обслуживание на основе мониторинга технического состояния оборудования в реальном времени, используя в полной мере заложенный в оборудовании ресурс и исключив его внеплановую (фактически аварийную) остановку и замену.

Фундаментальной причиной существующих на предприятиях проблем надежности оборудования является низкая степень объективности оценок состояния оборудования в реально протекающих процессах эксплуатации. Данная проблема не позволяет персоналу проводить своевременные и целенаправленные мероприятия по поддержанию производства в высокой степени технической готовности. Ее решение стало возможным благодаря появлению в начале 90-х годов XX столетия автоматических экспертных систем поддержки принятия решений о состоянии оборудования и сроках его вывода в ремонт.

В этот период были разработаны и внедрены более чем на десятке предприятий России АСУ безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования (АСУ БЭР™ КОМПАКС®): на технологических уста-

новках — стационарные системы мониторинга состояния оборудования КОМПАКС®, стационарные системы КОМПАКС®-КСА и персональные системы автоматической диагностики CompacS®-micro; в ремонтном производстве — стендовые системы контроля качества ремонта агрегатов и их узлов; в целом на предприятии — компьютерная диагностическая сеть CompacS-Net®, позволяющая осуществлять непосредственное управление процессом эксплуатации в реальном времени.

Системы мониторинга состояния оборудования КОМПАКС® позволяют без участия специалистов определять следующие типы неисправностей: нарушение центровки и балансировки; дефекты подшипников качения и скольжения; нарушение режима смазки; гидро-газодинамические проблемы в насосах и компрессорах; состояние торцовых уплотнений; неисправности зубчатых передач; ослабление крепления агрегата к фундаменту и присоединенным конструкциям; нарушение ТП (превышение максимальной загрузки мощностей); неисправности электродвигателей; отслоение плакирующего слоя в реакторах; недопустимые деформации корпусов технологического оборудования; неисправности клапанов и кривошипно-шатунной группы поршневых машин.

Высокая эффективность АСУ БЭР™ КОМПАКС®, которые по современной классификации относятся к системам класса MES управления производством в реальном времени и интегрируются с блоком ТОРО

и ERR-системам управления производством верхнего уровня (SAP R/3 и т.п.), заключается в автоматическом решении производственных задач по:

- диагностике и прогнозированию основных неисправностей (>95...98%) оборудования с ранним обнаружением, полным использованием ресурса и сохранением ремонтпригодности;
- предупреждению персонала о ближайших неотложных действиях по управлению состоянием оборудования;
- контролю исполнения диагностических предписаний систем и действий персонала посредством сетевых (Internet) технологий;
- формированию планов целенаправленных ремонтов на основе фактического состояния оборудования.

АСУ БЭР™ позволяют в реальном времени автоматически получать и практически использовать достоверную диагностическую информацию о состоянии оборудования, представляющую совокупность диагнозов состояний конструкций, машин, узлов, механизмов, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние оборудования изменяется незначительно.

При внедрении АСУ БЭР™ КОМПАКС® оборудование комплекса оснащается системами мониторинга в зависимости от степени риска возникновения инцидента и связанных с этим потерь прибыли.

Так, критическое оборудование (1-я категория – высокие бизнес риски), внезапный отказ которого может привести к снижению технико-экономических показателей производства на 75...90%, остановке технологического процесса или возникновению аварии и экологическим последствиям, подлежит оснащению стационарными системами мониторинга состояния оборудования КОМПАКС®.

Ответственное оборудование технологического комплекса (2-я категория – средние бизнес риски), отказ которого может привести к снижению технико-экономических показателей производства на 10...25%, оборудование, перекачивающее взрывопожароопасные и вредные вещества, а также труднодоступное оборудование, контроль состояния которого специалистами невозможен или сильно затруднен также оснащается системами КОМПАКС®. Вспомогательное оборудование (3-я категория – низкие бизнес риски), неисправность или выход из строя которого не влечет потерь продукции, не влияет на безопасность и экологию, а приводит лишь к необоснованным затратам на ремонт, то есть ведет к снижению технико-экономических показателей производства на 1...2%, подлежит диагностике и периодическому мониторингу переносными системами автоматической

диагностики Compacs®-micro, основным достоинством которых является встроенная автоматическая экспертная система, позволяющая ставить диагноз и оценивать состояние оборудования даже начинающим специалистам, не имеющим специального образования в области диагностики.

Важной составляющей АСУ БЭР™ КОМПАКС® являются стендовые системы контроля качества ремонта, внедряемые в ремонтных подразделениях предприятий и обеспечивающие выпуск из ремонта оборудования с максимальным потенциальным ресурсом, ввод в эксплуатацию которого производится с первого предъявления.

Объективная информация о состоянии оборудования со всех систем мониторинга объединяется в единую базу и посредством диагностической сети Compacs-Net® предоставляется всем заинтересованным службам предприятия для автоматизации процессов планирования и организации технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОРО), своевременного обеспечения запчастями, контроля исполнительской дисциплины персонала и оценки эффективности его работы.

Применение АСУ БЭР™ КОМПАКС®, основой которой является распределенная архитектура программно-аппаратных средств и автоматическая, инвариантная к конструкции агрегата экспертная система, обеспечивающая стратегию диагностики минимальной стоимости СДМС™, дает возможность непрерывно, в автоматическом режиме получать и использовать объективную информацию о техническом состоянии оборудования, выявлять и ликвидировать фундаментальные причины отказов оборудования (технология ЛИФПО™), повышать производствен-



Рис. 1. Структурная схема эксплуатации оборудования по техническому состоянию на основе технологии АСУ БЭР™ КОМПАКС®

ную дисциплину путем объективного контроля и своевременной коррекции действий персонала (рис. 1).

### Программное обеспечение системы КОМПАКС®

Программное обеспечение системы включает модуль измерения и вычисления первичных параметров, вычислительно-диагностический модуль анализа полученных данных (экспертная система), модули отображения информации на экране диагностической станции, речевого вывода, анализатора сигналов с автоматическим формированием спектральной матрицы, журнала механика-электрика, печати протоколов, связи по коммутируемым каналам Ethernet по протоколу TCP/IP.

Автоматическая экспертная система поддержки принятия решений в качестве входных данных использует информацию о текущих значениях диагностических признаков, их временных трендах и спектральных характеристиках сигналов. Имеется встроенный язык для описания правил экспертной системы. Экспертная система имеет свойство инвариантности к параметрам диагностируемого оборудования, что обеспечивает диагностику даже при недостаточной информации о конструктивных особенностях оборудования. В автоматическом режиме без участия специально обученного персонала (диагностов) экспертная система автоматически определяет дефекты и неисправности оборудования и указывает перечень работ, выполнение которых переведет оборудование в допустимое для дальнейшей эксплуатации состояние.

Сетевые возможности системы обеспечиваются встроенной поддержкой коммутируемых (телефонных) сетей, использующих модемы для передачи данных, и поддержкой сетевых протоколов HTTP и TCP/IP. Имеется возможность публикации данных на встроенном Web-сервере, что обеспечивает доступ к данным системы любых пользователей, оснащенных стандартным программным обеспечением для работы в Internet.

### Стационарная система вибродиагностики оборудования КОМПАКС® на ООО «Тобольск-Нефтехим»

В мае 2012 г. на ООО «Тобольск-Нефтехим» (г. Тобольск) завершены работы по модернизации и оснащению стационарной системой вибро-диагностики состояния оборудования КОМПАКС® основных, наиболее значимых насосных агрегатов на установках ЦГФУ, ДБО-10, ДБО-2/3 (рис. 2). Также проведено внедрение системы на установке БК-4.

Системы мониторинга технического состояния и безопасной эксплуатации оборудования КОМПАКС® на предприятии эксплуатируются с 1995 г.

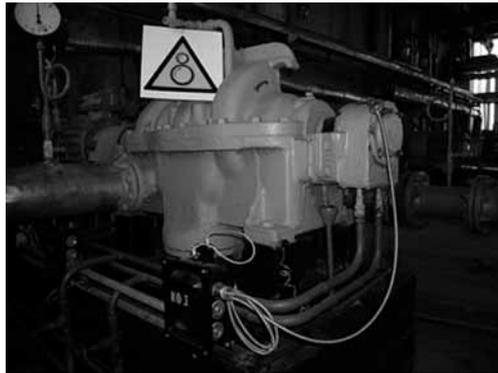


Рис. 2. Мониторинг технического состояния двухпорного насоса

В общей сложности, системы контролируют 124 единицы насосного оборудования и осуществляют комплексную диагностику по 1378 параметрам. Системы проводят оперативную оценку технического состояния подконтрольных насосных агрегатов при пуске и в эксплуатации, что позволяет своевременно выполнять техническое обслуживание и ремонт насосных агрегатов.

В качестве примера можно привести случай предотвращения аварии насоса Н-9/3 на установке ЦГФУ. После пуска этого агрегата 15 мая в 8:00 система показала недопустимый уровень вибропараметра и выдала сообщение: «ПРОВЕРЬ\_ЦЕНТРОВКУ» (рис. 3). Механиком установки было принято решение остановить насос и провести необходимые работы. После проведенного ремонта уровень вибрации агрегата упал в 2 раза и насосный агрегат перешел в состояние «ДОПУСТИМО».

Внедренная на предприятии диагностическая сеть Compac-Net® позволяет получать информацию о техническом состоянии подконтрольных насосных агрегатов установок ЦГФУ, ДБО-10, ДБО-2/3, БК-4 техническим специалистам и руководителям службы управления надежностью оборудования, ответственным за безопасную эксплуатацию оборудования, с рабочих мест пользователей, подключенных к внутризаводской компьютерной сети.

Система КОМПАКС® выдает своевременные и целенаправленные предписания персоналу, что обеспечивает своевременное принятие необходимых мер по предотвращению аварийных выходов из строя агрегатов и, как следствие, исключает возможность техногенных катастроф.

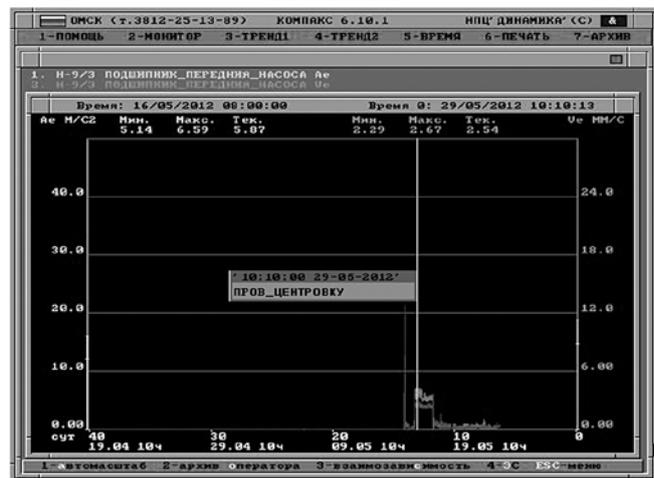


Рис. 3. Экран «ТРЕНД» диагностических признаков с выводом сообщений экспертной системы поддержки принятия решений

### Compac Asset Management™ – управление основными фондами предприятий на основе АСУ БЭР™ КОМПАКС®

Фундаментальными причинами проблем эксплуатации оборудования, определяющим и высокие затраты, и потери предприятий, являются:

- плохая наблюдаемость реальных процессов деградации оборудования;
- низкая объективность оценки качества агрегатов и их узлов при производстве, ремонте и в эксплуатации;
- трудность выявления скрытых ошибок проектирования и монтажа;
- необъективность оперативного контроля за действиями персонала, ответственного за работоспособность оборудования и ведение технологического процесса.

Многолетний опыт внедрения и эксплуатации систем вибродиагностики, компьютерного мониторинга и автоматической диагностики состояния оборудования КОМПАКС®, под контролем которых находится несколько тысяч единиц оборудования десятков предприятий различных отраслей промышленности, показывает, что тотальный подход к управлению основными фондами предприятий, базирующийся на системе плано-предупредительного обслуживания и ремонта (ППР), не обеспечивает требуемой эффективности их использования.

Значительный износ технологического оборудования, низкая надежность его работы, внеплановые и аварийные остановки производств, высокочрезвычайно и неэффективные принципы организации ТОРО по системе ППР, субъективный контроль качества производства и ремонта оборудования, отсутствие контроля состояния оборудования в процессе эксплуатации, отрицательное воздействие персонала на состояние оборудования при управлении технологических процессов – вот основные проблемы, которые невозможно решить, используя традиционный подход к планированию и организации ТОРО.

Система ППР, основанная на вероятностных данных производителей о периодичности ТОРО, рассчитанных для неких нормальных условий эксплуатации разнообразного оборудования, не позволяет достоверно определить ни объем, ни наилучший момент времени для проведения мероприятий ТОРО, так как условия эксплуатации одних и тех же типов оборудования в реальном производстве существенно различаются, различаются квалификация и производственная дисциплина персонала на различных предприятиях даже одной отрасли. Все это приводит к тому, что более 2/3 всех ремонтов, проводимых по системе ППР, являются нецелесообразными, а в 30% случаев даже вредными, ухудшающими состояние ремонтируемого оборудования. Кроме этого, при такой организации ТОРО достаточно высока доля аварийных и внеплановых ремонтов, обуславливающих высокий (до 30% себестоимости) уровень затрат на ТОРО и существенные потери от простоев

и аварий на производстве, достигающих 20% маржинального дохода.

В связи с широким распространением компьютерных технологий, позволяющих обрабатывать большие массивы данных и автоматизировать планирование ТОРО с учетом данных по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту оборудования, данных о фактических отказах оборудования, на рынке появились такие продукты, как CMMS (computerized maintenance management software) и EAM (Enterprise Asset Management). Сущность этих продуктов состоит в том, что они, используя данные о номенклатуре и составе оборудования, периодичности регламентного ТОРО, параметрах окружающей среды, позволяют с различной степенью вероятности планировать работы по диагностике, техническому обслуживанию и ремонту оборудования, складские запасы запасных частей и прочее. Однако главной проблемой при использовании этих систем является ручной ввод информации при нестабильности параметров окружающей и рабочей среды оборудования.

Реальная стоимость такого тотального управления значительно превышает стоимость учитываемого, создавая иллюзию возможности добиться результата. И если паспортизация оборудования силами консультантов по внедрению и массы специалистов предприятия в принципе возможна, то поддержание такой базы в актуальном состоянии на предприятии, насчитывающем десятки тысяч единиц разнообразного оборудования, не реально, что подтверждается многочисленными статьями в прессе и отзывами заказчиков. Реализация системы ППР на таких программных продуктах возможна лишь на небольших и простых по составу технологического оборудования предприятиях из-за большой трудоемкости и субъективности вводимых в систему данных, поэтому >70% компаний оценивают результаты внедрения этих продуктов как неудачные, так как при этом подходе к ТОРО также не решаются основные проблемы: непредсказуемость момента утраты оборудованием работоспособности, низкая надежность ТП и значительные потери от простоев в период восстановления его работоспособности, высокие расходы на техническое обслуживание и ремонт из-за неполной выработки оборудованием имеющегося ресурса, высокие административные расходы на ввод и обработку информации.

Для эффективного управления основными фондами предприятий НПЦ "Динамика" предлагает заказчикам абсолютно новое уникальное решение Compac Asset Management™ (САМ™), базирующееся на объективных, целенаправленных и своевременных данных о состоянии оборудования, предоставляемых системами мониторинга КОМПАКС®, объединенными в единую диагностическую сеть предприятия Compac-Net®, в совокупности составляющими автоматизированную систему управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования АСУ БЭР™ КОМПАКС®.

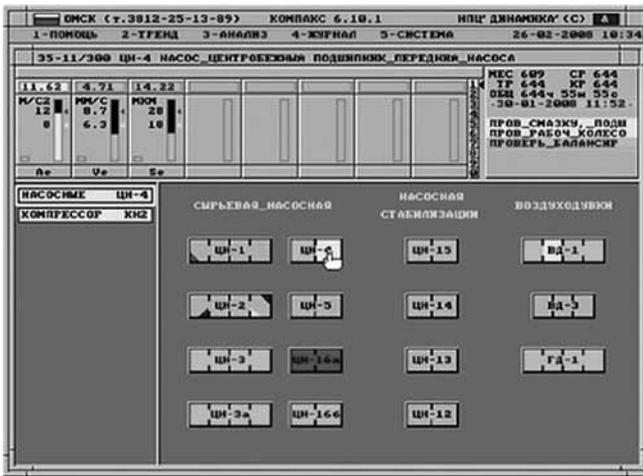


Рис. 4. Экран «МОНИТОР» системы мониторинга динамического оборудования

SAM™ включает ряд программных продуктов, автоматически формируемых стационарными и мобильными системами мониторинга, публикуемых в РВ в диагностической сети предприятия. Информация в SAM™ поступает автоматически из следующих программных модулей систем КОМПАКС®: «Монитор» (рис. 4), «Тренд» (рис. 5), «Журнал механика-электрика», «Журнал событий». В SAM™ включены справочники возможных причин ремонта агрегатов, перечни ремонтных работ и замен, осуществляемых в процессе ТОРО динамического и статического оборудования. Такая организация позволяет ей автоматически формировать протоколы состояний конкретных единиц оборудования и состояния всего оборудования технологического комплекса, протоколы истории ремонтов со статистикой проведенных работ и замен как по каждой единице оборудования, так и по комплексу в целом, протоколы планирования работ по техническому обслуживанию, срочным и потенциально возможным ремонтам с указанием конкретных дефектов и возможных причин неисправностей оборудования для оценки степени сложности и трудоемкости ремонтно-восстановительных работ.



Рис. 5. Экран «ТРЕНД» диагностических признаков с выводом сообщений экспертной системы поддержки принятия решений

Кроме того, SAM™ автоматически формирует абсолютно объективные, основанные на автоматически получаемых из систем мониторинга данных, отчеты о надежности по каждой единице оборудования, по всему оборудованию комплекса, по самому технологическому комплексу. В отчеты включена статистика по целому набору показателей, среди которых показатель превышения периода мониторинга нормативного, показатель продолжительности эксплуатации оборудования в неисправном техническом состоянии, показатель распределения мероприятий ТОРО по технологическим позициям, доля оборудования 1 и 2 категории ответственности, эксплуатируемого в опасном техническом состоянии, близком к предельному, и многие другие.

Отчеты и показатели формируются в пяти временных базах от 12 часов до 9 лет, что позволяет управлять основными фондами и производством в целом не только в оперативном режиме, но и в стратегическом плане, опираясь на сбалансированную систему показателей функционирования технологического комплекса, формируемую системой с учетом уровня загрузки технологической установки по отношению к проектной, которая конфигурируется в процессе внедрения в производстве SAM™.

Основными достоинствами SAM™ являются:

- объективность оценки состояния основных производственных фондов благодаря мониторингу состояния оборудования в реальном времени;
- объективность оценки производственной дисциплины и результативности работы персонала технологических комплексов благодаря автоматической подготовке отчетов и протоколов в подсистеме;
- объективность затрат на ТОРО, что выгодно как производственному персоналу, так как нет необходимости доказывать потребность в ремонте оборудования, так и руководителям всех уровней, так как нет необходимости перепроверять информацию от подчиненных о требуемых затратах на ремонт и техническое обслуживание оборудования;
- своевременность и целенаправленность предоставления всех видов отчетов и протоколов в единой диагностической сети на всех уровнях управления предприятием;
- наиболее полное представление данных о проведенных работах и заменах при техническом обслуживании и ремонте оборудования благодаря автоматическому архивированию и хранению данных за любой период до 9 лет;
- существенное облегчение поиска и ликвидации фундаментальных причин отказов оборудования (ошибок проектирования и монтажа, необходимости корректировки технологических схем и регламентов работы оборудования и персонала) благодаря объективным и своевременным отчетам, включающим необходимые статистические данные и показатели функционирования оборудования и персонала технологических комплексов;

• возможность реализации принципов гибкого бюджетирования и построения сбалансированной системы показателей результативности работы технологических комплексов и предприятия в целом.

Внедрение АСУ БЭР™ КОМПАКС® ведет к повышению надежности технологических комплексов и обеспечивает переход от системы ППР к эксплуатации оборудования по техническому состоянию в реальном времени.

*Костюков Владимир Николаевич — д-р техн. наук, генеральный директор,  
Костюков Алексей Владимирович — канд. техн. наук, технический директор НПЦ "Динамика".  
Контактный телефон (3812) 25-42-44.  
E-mail: post@analytics.ru*

## РЕШЕНИЯ ДЛЯ НАДЕЖНОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ВСЕХ СТАДИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН

П.П. Якобсон (ООО "Ассоциация ВАСТ")

Представлены основные возможности и особенности приборов для мониторинга и автоматической диагностики вращающегося оборудования, разработанные "Ассоциацией ВАСТ". Показаны состав, функциональность и области применения стационарного комплекса для контроля и прогноза технического состояния вращающегося оборудования по вибрации КПА-1В и стационарного комплекса непрерывного виброконтроля и защиты от опасной вибрации КВК-21М.

Ключевые слова: мониторинг и автоматическая диагностика, вибромониторинг, прогноз, анализ, вращающееся оборудование, интеграция, измерительный сервер.

ООО "Ассоциация ВАСТ" является активным участником развития сформировавшегося в последние десятилетия направления диагностики работающего оборудования без его остановки, получившего название Condition monitoring and diagnostics of machines.

Системы диагностики, мониторинга и балансировки ООО "Ассоциация ВАСТ" используются уже более 20 лет в металлургии, энергетике, добывающих и перерабатывающих отраслях, машиностроении и транспорте России, СНГ и стран дальнего зарубежья.

Важнейшим преимуществом этих систем является возможность полной диагностики и прогноза остаточного ресурса вращающегося оборудования с переходом на обслуживание и ремонт по его фактическому состоянию. Использование данных систем сокращает объем ремонтных работ на 35%, что позволяет окупить затраты на их приобретение за 3...6 мес. Все виды дефектов вращающегося оборудования определяются за несколько месяцев до возникновения аварийной ситуации, что позволяет планировать объем и сроки проведения ремонтных работ.

Основными ноу-хау "Ассоциации ВАСТ" являются:

- методики диагностики низкооборотных подшипников;
- ПО для автоматической диагностики узлов роторных машин;
- интеграция средств и методов диагностики с АСУ техническим обслуживанием и ремонтами промышленного оборудования.

живанием и ремонтами промышленного оборудования.

Номенклатура выпускаемой "Ассоциацией ВАСТ" продукции включает приборы и системы вибродиагностики, а также ПО для проведения автоматической диагностики.

Специалисты Ассоциации внесли большой вклад в создание и развитие методов и средств диагностики по фактическому состоянию и накопили наибольший в России опыт практических исследований в области вибрационной диагностики вращающегося оборудования. Конечной целью внедрения диагностики при эксплуатации обычно является перевод оборудования на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию. "Ассоциация ВАСТ" для снижения объемов начальных инвестиций оказывает практическую помощь предприятиям по поэтапному достижению этой цели. На первом этапе предлагается решать задачи снижения числа и объема внеплановых обслуживаний и ремонтов ограниченной номенклатуры вращающегося оборудования, на втором — расширять номенклатуру оборудования и увеличивать интервалы между плановыми обслуживаниями, и только на третьем отказываться от плановых ремонтов.

На первом этапе предлагается решать задачи снижения числа и объема внеплановых обслуживаний и ремонтов ограниченной номенклатуры вращающегося оборудования, на втором — расширять номенклатуру оборудования и увеличивать интервалы между плановыми обслуживаниями, и только на третьем отказываться от плановых ремонтов.

### Переносные приборы

#### Виброметр СМ-21

Одной из недавних разработок переносных систем "Ассоциации ВАСТ" является виброметр СМ-21 (рис. 1),



Рис. 1. Виброметр СМ-21